

框架式地道桥设计 理论与应用

朱尔玉 王恒栋 谢 玲◎著

非
外
借



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

框架式地道桥设计理论与应用

朱尔玉 王恒栋 谢玲 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要讲述框架式地道桥的设计理论、分析计算方法及其应用,在本书的后半部分也兼顾了地道桥顶进施工的主要内容和过程。

全书共分为15章,第1章到第8章为设计部分,详细阐述了框架式地道桥设计的基本理论、分析计算方法和进行预应力设计的过程,结合具体工程给出了计算算例,介绍了相关的地道桥设计软件系统,并通过实例进行了分析和验证。第9章到第15章为施工部分,对地道桥施工的具体流程给出了介绍,同时加入了一些施工中的新技术和新工艺,并针对在顶进过程中的信息化和自动化技术做了一些探索性介绍。

本书既可作为土木工程、道路和铁道工程等专业本科生和研究生的教材,也可供从事框架式地道桥和城市综合管廊结构设计、研究和施工等工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

框架式地道桥设计理论与应用/朱尔玉,王恒栋,谢玲著. —北京:北京交通大学出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-5121-3365-5

I. ①框… II. ①朱… ②王… ③谢… III. ①刚构桥-地道桥-桥梁设计 IV. ①U448.192

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第237651号

框架式地道桥设计理论与应用

KUANGJIASHI DIDAOQIAO SHEJI LILUN YU YINGYONG

责任编辑:韩 乐 助理编辑:严慧明

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

<http://www.bjtup.com.cn>

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编:100044

印 刷 者:北京时代华都印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 mm×260 mm 印张:22 字数:549千字

版 次:2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3365-5/U·280

印 数:1~800册 定价:68.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

作者简介



朱尔玉，教授，博士生导师，现任北京交通大学土木建筑工程学院跨座式单轨交通研发中心主任，国家重点学科桥梁与隧道工程专业三级教授。已指导毕业硕士研究生 88 名、博士研究生 8 名，公开发表学术论文 130 多篇，主编或参编学术著作 7 部，获得省部级科技进步特等奖 1 项、二等奖 3 项、三等奖 3 项，已申报以单轨交通等为主的专利 200 多项，已获得专利授权 60 多项。

长期从事桥梁工程、城市轨道交通工程、高铁、重载铁路桥梁等方面的研究和教学工作，主要研究方向为预应力技术，工程结构耐久性和加固，桥梁工程应急抢修，BIM、GIS、MIS 软件系统开发。

在框架式地道桥设计理论中，首次提出施加预应力的理念，并成功申请发明专利“混凝土地道桥施工中的预应力应用方法”和“混凝土框架箱涵施工中的预应力应用方法”。在框架式地道桥设计过程中，开发了相关的地道桥设计软件系统。对于地道桥顶进过程中的信息化和自动化技术，也做了有益的尝试。

作者简介



王恒栋, 1967 年出生, 工学博士, 现为上海市政工程设计研究总院 (集团) 有限公司副总工程师, 教授级高工。长期从事结构工程设计与研究工作, 在工程结构理论分析、结构体系可靠度、结构耐久性及安全性使用评价、城市地下空间综合开发利用等领域取得了一系列研究成果。在国内外专业刊物发表 30 篇学术论文, 先后获得国家科技进步二等奖 1 项、省部级科技进步一等奖 2 项、二等奖 2 项、三等奖 4 项。主持完成国家“十一五”科技支撑计划课题 1 项, 上海市科委重大科研课题 1 项, 上海市建科委科研课题 1 项, 所主持的科研课题研究成果总体达到国际先进水平。主持完成的重大工程设计获得詹天佑奖 2 项, 国家优秀工程设计一等奖 3 项, 住建部优秀工程设计一等奖 3 项、二等奖 4 项, 上海市优秀工程设计一等奖 4 项、三等奖 2 项。主持编写国家标准 2 项、国家行业标准 2 项、地方标准 3 项、标准化协会标准 1 项。作为主要人员参加编写国家标准 3 项、国家行业标准 1 项、地方标准 2 项、工程标准化协会标准 7 项。获得发明专利 5 项、实用新型专利 39 项。曾出版《综合管廊工程理论与实践》《城市地下市政公用设施规划与设计》(国家十二五重点出版基金项目)《给水排水工程结构设计手册》等 7 部著作。

以王恒栋为核心的城市市政综合管廊工程技术研究与开发研究团队, 在上海市科委重大科技攻关项目“地下交通规划与综合管沟关键技术”(04dz12013)、国家“十一五”科技支撑计划课题“城市市政工程综合管廊技术研究和开发”(2006BAJ16B07)、国家“十三五”重点研发计划课题“城市地下综合管廊规划建设与安全运维体系”(2016YFC0802405)的资助下, 通过对城市市政综合管廊工程技术的深入研究, 建立了我国城市地下综合管廊技术体系。

作者简介



谢玲，高级工程师，国家一级注册结构师，1985年毕业于华北水利水电学院，同年分配到水利部海委漳卫南运河管理局，长期从事水利工程规划设计、工业与民用建筑设计、闸桥维修养护设计及工程建设管理工作。目前担任漳卫南运河水利工程建设管理局总工程师，作为技术负责人承担着近年来漳卫南运河水利工程建设管理工作。担任漳卫南运河管理局规划设计研究院副院长期间，主持完成了漳卫南河系内堤防维修养护设计、病害闸桥维修加固设计、基建项目规划设计等项目，具有深厚的理论功底、丰富的实践经验，其中漳卫南局防汛调度楼荣获德州市优秀建筑设计奖。负责编写的《漳卫南运河水利风景区可行性研究报告》《漳卫南运河水利风景区发展规划》获得水利部肯定；参与建设的引黄济津潘庄线路应急输水漳卫新河倒虹吸工程获得2011—2012年度中国水利工程优质（大禹）奖。

前 言

在我国铁路运输大提速的过程中,框架式地道桥发挥了无可替代的作用。铁路与公路有许多平交道口,从安全运输、提高效率的角度出发,需将它们改造成立交道口,但同时又不允许在改造工程时中断行车,采用框架式地道桥可以较好地解决这个问题。此外,框架式地道桥在公路建设和城市综合管廊工程中也有着广泛的应用。

当前,国内外地道桥的发展都很迅速,但随着地道桥跨数和跨度的增加,规模越来越大,设计和施工的难度也變得越来越大。如果只是单纯地使用钢筋混凝土来修筑地道桥,不仅设计和施工都更加困难,而且对于地道桥的长期使用性能和耐久性也极为不利。所以,单纯地采用钢筋混凝土修筑地道桥已经跟不上形势的发展,不能满足实际工程的需要,而采用预应力技术,则可很好地解决这些问题。与非预应力地道桥相比,框架式预应力地道桥具有跨越能力大、受力性能好、结构轻巧美观、经济可靠、耐久性好等优势。这也是地道桥结构未来发展的必然方向。

本书是在朱尔玉教授带领的科研团队多年的教学实践和科研成果的基础上完成的。在本书出版之前,虽然已经有了一些地道桥设计和施工方面的著作,但还没有一本介绍如何在地道桥结构中施加预应力的著作,并且大多数著作偏重于对施工技术和方法的论述,而对于地道桥设计理论方面的论述还不够系统、完善,对于读者而言更是缺少详细的设计计算实例。出版本书的目的就是希望能为读者较为系统地介绍框架式地道桥的设计理论及其应用方法。本书主要介绍如何将预应力技术引入框架式地道桥设计中,并结合北京市南中轴路下穿京山铁路框架式地道桥的设计过程进行具体说明,给出了一些有价值的计算分析成果。同时,在本书的后半部分也兼顾了地道桥顶进施工的主要内容和过程。全书共分为15章,第1章到第8章为设计部分,详细阐述了框架式地道桥设计的基本理论、分析计算方法和进行预应力设计的过程,结合具体工程给出了计算算例,介绍了本科研团队开发的框架式地道桥设计软件系统和框架式预应力地道桥设计软件系统,并通过实例进行了分析和验证。第9章到第15章为施工部分,对地道桥施工的具体流程给出了介绍,加入了一些施工中的新技术和新工艺,并针对在顶进过程中的信息化和自动化技术做了一些探索工作。

本书在编写过程中参考和借鉴了近年来国内外地道桥设计与施工方面的相关著作、论文和规范等,并将主要的参考文献附在书末,在此对相关已列出和未列出的作者和出版社表示真诚的感谢。本书引用绝无侵权之意,特此申明。

本书由北京交通大学朱尔玉、上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司王恒栋、漳卫南运河水利工程建設管理局谢玲共同完成。由衷地感谢北京交通大学刘文华博士、郭占明博士、田杰博士、海潮硕士、林文泉硕士、韩广晖硕士、陈锐硕士、禹国辉硕士、尚龙飞硕士、钟奇硕士、张超硕士、武刚硕士及王中奇、王志鹏等同学对本书的付出。

由于作者水平和时间有限,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

作者

2017年1月于北京交通大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 国内外地道桥发展概况	2
1.2.1 国内发展概况	2
1.2.2 国外发展概况	4
1.3 框架式地道桥结构内力分析方法及原理概述	5
1.3.1 框架式地道桥结构内力分析方法	5
1.3.2 传统框架式地道桥结构内力分析原理	5
1.4 框架式地道桥设计存在的问题和发展方向	7
1.4.1 框架式地道桥设计存在的问题	7
1.4.2 框架式地道桥的发展方向	8
第2章 框架式地道桥的设计荷载	9
2.1 荷载类型	9
2.2 恒载	10
2.2.1 结构自重计算	10
2.2.2 土压力	12
2.2.3 混凝土收缩的影响	13
2.3 活载	14
2.3.1 一般铁路活载	14
2.3.2 冲击作用	18
2.3.3 列车活载引起的水平土压力	18
2.3.4 公路活载与人行道活载	19
2.3.5 高速铁路活载	20
2.4 附加力	22
2.4.1 一般铁路制动力	22
2.4.2 高速铁路制动力	22
2.4.3 温度变化的影响	22
2.5 框架式地道桥荷载汇总	23
第3章 框架式地道桥计算方法	24
3.1 框架式地道桥计算方法的发展	24
3.2 框架式地道桥结构力学计算理论	25
3.2.1 计算方法	25

3.2.2 计算公式	27
3.3 框架式地道桥的有限元计算	42
3.3.1 框架式地道桥的有限元计算理论	43
3.3.2 框架式地道桥的有限元计算实例	56
3.4 框架式地道桥计算方法存在的问题	65
第4章 框架式地道桥的结构设计	67
4.1 概述	67
4.2 框架式地道桥方案设计阶段应考虑的因素	67
4.2.1 路桥总体方案	68
4.2.2 地质条件	68
4.2.3 其他因素	69
4.3 结构形式的选择及截面尺寸的拟订	69
4.3.1 框架式地道桥结构形式的选择	69
4.3.2 框架式地道桥截面尺寸的拟订	71
4.4 框架式地道桥结构设计的基本假定	72
4.5 框架式地道桥内力组合	72
4.6 框架式地道桥配筋计算方法	73
4.6.1 板壳理论概述	73
4.6.2 正交框架式地道桥各截面配筋设计	73
4.6.3 斜交配筋的钢筋混凝土板的配筋计算	77
4.6.4 顶、底板配筋原理	78
4.6.5 框架式地道桥墙体配筋计算	80
4.7 斜交框架式地道桥力学特性分析	86
4.7.1 斜交框架式地道桥近似计算方法的讨论	86
4.7.2 内力计算	90
4.7.3 结构配筋特点	91
4.7.4 对大斜交框架式地道桥配筋的建议	92
第5章 框架式地道桥设计软件系统	94
5.1 框架式地道桥设计软件系统简介	94
5.2 软件系统的开发说明	94
5.2.1 总体编程流程图	94
5.2.2 前处理模块	95
5.2.3 计算分析模块	98
5.2.4 后处理模块	100
5.2.5 图形显示模块	101
5.2.6 配筋在程序中的实现	101
5.2.7 CAD 绘图模块	106

5.3 软件应用实例	107
5.3.1 工程概况	107
5.3.2 沿铁路线路方向的配筋计算结果	111
5.3.3 垂直于铁路线路方向的配筋计算结果	112
5.3.4 与实际配筋对比结果	112
第6章 框架式地道桥的计算算例	113
6.1 工程概况	113
6.1.1 地质条件	113
6.1.2 水文地质条件	113
6.1.3 设计荷载	114
6.1.4 结构设计原则	114
6.1.5 主要建筑材料	114
6.1.6 附属结构及工程	115
6.2 四孔框架式地道桥按极限状态法分析计算算例	116
6.2.1 顶、底板配筋	116
6.2.2 墙体配筋	120
6.2.3 框架角隅配筋验算	123
6.3 四孔框架式地道桥按容许应力法分析计算算例	123
第7章 框架式预应力地道桥的设计和计算	125
7.1 预应力技术发展概述	125
7.2 预应力技术介绍及其优点	126
7.3 荷载平衡法及其在框架结构中的应用	128
7.3.1 预应力等效荷载原理	128
7.3.2 荷载平衡法原理	132
7.3.3 荷载平衡法的设计步骤	133
7.3.4 荷载平衡法在框架结构中的应用	134
7.3.5 荷载平衡法的局限性	135
7.4 框架式预应力地道桥结构设计	135
7.4.1 预应力框架结构的截面尺寸拟订	135
7.4.2 预应力筋的估算	137
7.4.3 预应力筋的布置方式	138
7.4.4 张拉控制应力及偏心距的确定	139
7.4.5 预应力损失的计算	140
7.5 框架式预应力混凝土地道桥施加预应力的方法	142
7.6 框架式地道桥的计算算例	143
7.6.1 结构尺寸拟订和内力组合分析	143
7.6.2 预应力筋的配置	146

7.6.3	非预应力筋的配置	156
7.6.4	抗裂验算	159
7.6.5	构造要求	163
第8章 框架式预应力地道桥设计软件系统		164
8.1	概述	164
8.2	预应力筋配置计算理论	165
8.2.1	预应力筋束的线形选择	165
8.2.2	预应力筋布置计算过程介绍	166
8.2.3	预应力筋配置程序总体设计	167
8.3	内力计算分析模块的改进与开发	168
8.3.1	内力计算分析模块简介	168
8.3.2	针对预应力配筋的开发内容	169
8.3.3	内力计算分析模块设计	169
8.3.4	前处理及后处理模块的设计	170
8.3.5	内力计算分析程序的使用说明	171
8.4	预应力筋配置计算模块的开发	177
8.4.1	预应力计算过程中的相关理论	178
8.4.2	预应力配筋计算程序的实现	185
8.4.3	CAD 绘图模块的程序实现	195
8.5	框架式预应力地道桥设计软件系统验证实例	196
8.5.1	工程概况	197
8.5.2	软件系统计算结果	197
8.5.3	软件系统验证	200
第9章 线路加固设计		204
9.1	概述	204
9.2	线路加固方法介绍	204
9.2.1	吊轨横梁法和吊轨加纵横梁法	204
9.2.2	工字钢束梁	207
9.2.3	便梁加固法	209
9.3	无缝线路加固方法	215
9.3.1	无缝线路加固的一般做法	215
9.3.2	桥体位于无缝线路不同区段的加固方法	215
9.3.3	在无缝线路固定区顶桥施工	217
9.3.4	对无缝线路变形的分析和处理	217
9.4	地道桥顶进法施工对既有轨道动态特性的影响	218
9.4.1	研究的目的是与方法	218
9.4.2	数据分析结果	219

9.4.3 相关结论	220
9.5 提高限速的加强措施	220
第10章 工作坑和排降水设计	222
10.1 工作坑的类型	222
10.2 工作坑设置的原则	223
10.3 工作坑设计和施工中应考虑的因素	224
10.4 工作坑的支护设计	224
10.4.1 排桩支护	224
10.4.2 地下连续墙围护	228
10.4.3 水泥土墙围护	229
10.4.4 SMW 工法挡墙	229
10.4.5 土钉墙支护	230
10.4.6 预应力鱼腹梁钢支撑支护	230
10.5 施工排降水	231
10.5.1 地道桥排降水的重要性	231
10.5.2 工作坑的排降水	232
10.5.3 雨水流量计算	232
10.6 路基内的降水	233
10.6.1 地下水涌水量计算	234
10.6.2 井点间距及数量的确定	238
10.6.3 计算实例	239
第11章 引道及泵站设计	241
11.1 概述	241
11.2 分离式引道	242
11.2.1 引道的横断面形式	242
11.2.2 挡土墙设计	243
11.2.3 路面	243
11.2.4 栏杆及照明	244
11.3 封闭式引道	244
11.4 引道排水管道设计	245
11.4.1 一般原则	245
11.4.2 引道内排水量的计算	245
11.4.3 雨水口及井算的设计	246
11.4.4 雨水管渠及附属构筑物的设计	247
11.5 盲沟设计	248
11.6 排水泵站设计	249
11.6.1 一般规定	249

11.6.2	排水泵站位置的选择	250
11.7	桥面与边墙外侧防水与排水	250
第12章	框架式地道桥顶进施工方法	252
12.1	框架式地道桥顶进法概述	252
12.1.1	顶进法简介	252
12.1.2	框架式地道桥顶进法简介	253
12.2	顶进法分类	254
12.2.1	一次顶入法	254
12.2.2	中继间法	254
12.2.3	顶拉法	255
12.2.4	多箱分次顶进法	257
12.2.5	对顶法	258
12.2.6	开槽顶进法	259
12.2.7	牵引法	259
12.2.8	顶进刚构与顶梁结合法	260
12.2.9	管幕-箱涵顶进法	261
12.2.10	桥式盾构法	263
12.3	顶进方法方案比选	264
12.3.1	总体原则	264
12.3.2	不同顶进方法的优缺点比较	265
12.4	斜交框架式地道桥顶进	266
12.5	顶进作业	267
12.5.1	现场调查	267
12.5.2	顶进设备	268
12.5.3	顶进作业	271
12.5.4	恢复线路	274
12.6	软土地基上的顶进作业	275
12.6.1	软土地基顶进施工特点	275
12.6.2	门槛设置及滑板接长	275
12.6.3	软土地基加固处理方式的选择	276
第13章	滑板与箱涵制作	279
13.1	滑板	279
13.1.1	滑板的作用及其技术要求	279
13.1.2	滑板的结构形式	279
13.1.3	滑板的种类	280
13.1.4	滑板施工要点	282
13.1.5	地锚梁设置	282

13.1.6 润滑隔离层	283
13.2 箱涵预制	283
13.2.1 钢筋工程	284
13.2.2 模板工程	285
13.2.3 混凝土工程	287
13.2.4 船头坡的设置	288
13.2.5 刃角的设置	289
13.2.6 转正块的设置	292
13.2.7 防止桥体混凝土产生温差裂缝的措施	292
13.2.8 后浇带施工	293
13.2.9 箱涵防水层设置	293
13.2.10 箱涵预制施工质量控制	294
第14章 顶力计算与后背墙设计	296
14.1 概述	296
14.2 顶力计算	296
14.2.1 顶进阻力的分类	296
14.2.2 顶力计算方法	296
14.2.3 顶力简易估算	297
14.2.4 斜交顶进顶力计算	297
14.2.5 顶桥最大顶力检算	298
14.2.6 减小箱涵与土之间的摩擦力的措施	298
14.3 后背墙设计	299
14.3.1 后背墙的类型及构造	299
14.3.2 后背墙承受顶力后的变形特点	301
14.3.3 重力式后背墙设计	302
14.3.4 钢板桩式后背墙设计	305
14.3.5 板桩式后背墙的稳定性验算	308
14.3.6 拼装式后背墙的设计	309
14.3.7 后背梁的设计	310
14.3.8 修建后背墙的注意事项	311
第15章 框架式地道桥施工现场测量与控制技术	312
15.1 框架式地道桥施工过程中存在的问题	312
15.2 地道桥顶进自动化控制系统	312
15.3 施工中的自动化监测技术	316
15.3.1 自动化施工的原理	316
15.3.2 光纤检测技术在地道桥施工监测中的应用	316
15.4 顶进方向及高程的控制	317

15.4.1 顶进中的方向控制	317
15.4.2 顶进中的高程控制	318
15.5 顶进方向和高程的自动化监测	321
15.6 框架式地道桥现场测量工程实例	322
15.6.1 框架式地道桥施工过程现场测量	322
15.6.2 框架式地道桥成桥状态现场测量	325
参考文献	328
后记	331

第1章 绪 论

1.1 概述

随着我国现代化进程不断向前推进,城市建设得到了极大的发展,但与此相对应的城市交通建设却严重滞后,交通拥堵问题越来越突出,严重制约了城市的经济发展。而在导致道路堵塞的制约因素中,铁路与公路相交的平交道口更是其中的一块短板。大量的平交道口成为一个个“瓶颈”,造成了严重的堵车问题。

近年来国家加大了对铁路等基础设施的投入力度,铁路列车不断提速,高速铁路得到了快速发展,列车的行车密度也大幅提高。在这种情况下,若将平交道口改为立交道口,可以使得铁路与公路各自运行、互不相扰,能够大大提高运输效率并保证安全。因此,将铁路与公路相交的平交道口改为立交道口是改善城市交通的有效措施之一。

平交道口改为立交道口主要有两种方式:一是采用高架公路桥通过线路上方,二是修建地道桥下穿铁路。地道桥作为道路交通平交改立交的重要形式,与高架公路桥相比具有自身的显著优势:其一,在满足城市道路使用功能要求下,地道桥的造价更低,投资更少,收益却更大,并且因为其对地基承载力要求不高,适用范围更加广泛;其二,地道桥建于铁路下方,能够以最小的建筑高度缩短桥两端引线的长度,在桥下有较大的净空,有利于公路交通运输,同时工期相对较短,不会给铁路行车带来太大的影响,并且只要控制好列车通过速度,地道桥的顶进施工过程也不受铁路行车的影响;其三,现代城市发展对于环保和美学的要求越来越高,高架公路桥产生的噪声问题备受诟病,而地道桥构筑于地下或其他线路下,行车噪声小,其与周围建筑环境的协调处理更为容易,当其中融入了更多的建筑美学处理时,它也能成为城市一道亮丽的风景线。图1-1为一个示例。

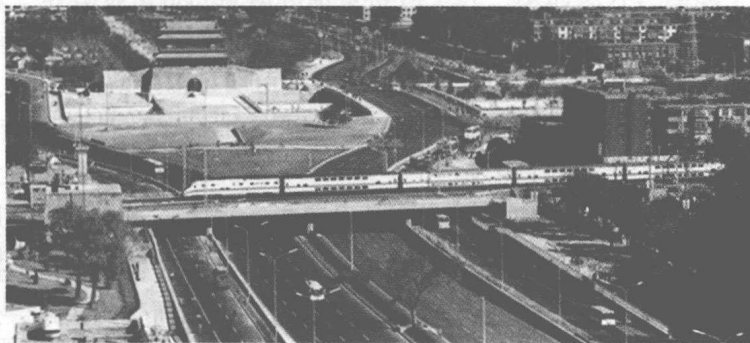


图1-1 北京市南中轴路下穿京山铁路框架式地道桥^①

^① <http://www.brec.com.cn/brec/project/good/46594/index.html>.

在我国铁路运输大提速的过程中,地道桥中的框架式地道桥发挥了无可替代的作用。铁路与公路有许多平交道口,从安全运输、提高效率的要求出发,铁路部门须将它们逐一改造成立交道口,但同时又不允许改造工程时中断行车。采用框架式地道桥就可较好地解决这个问题,即首先在铁路路基旁预制好地道桥的框架箱形结构,然后对线路采取加固措施,最后将框架式地道桥用顶进的方式逐渐顶入线路路基中。在整个施工过程中,铁路运输可不断,线路路基完整性也得到了保证。

地道桥的总造价相对低廉。例如,对于采用顶进施工的框架式地道桥,按所有费用均摊到框架式地道桥的每个顶面平方米来算,在江西省为 $5\,000 \sim 6\,000$ 元/ m^2 (按铁路定额编制的概算值),跨度越大,每平方米造价越低。在京九铁路提速改造工程中,一座上跨铁路立交桥的造价大约为一座下穿框架式地道桥造价的 3 倍。若采用现浇方法进行施工,则框架式地道桥的造价更低。一般情况下,如果地基处理费用不高,刚架地道桥的造价比框架式地道桥更低。盖板箱涵则是几种结构中单位顶面平方米造价最低的,一般在 $2\,500$ 元/ m^2 左右 (按铁路定额编制的概算值)。

在一些地质情况不太好的地区 (如江浙沪一带),软土层厚且分布广,若采用梁式结构,其桩基础需长达 $50 \sim 60$ m (如上海地铁明珠线),而桥梁跨度也不过 $20 \sim 30$ m;但若采用框架式地道桥结构,其地基承载力往往只需要 $120 \sim 150$ kPa 即可,而跨度能达到 $16 \sim 20$ m。相比而言,框架式地道桥的性价比优势更为明显。

虽然成功建造的地道桥已经相当多了,但有关统计资料却很零散。从有关研究资料来看,国内下穿铁路的单跨正交框架式地道桥的最大净跨可达到 17 m;单跨框架斜交角度最大者达到 85° ,即从结构平面来看,锐角角度仅为 5° ,该地道桥位于芜铜线上,由上海铁路局设计院设计。在多跨连续地道桥中,最大跨度 (其中一跨) 达 30 m,斜交角度最小仅为 16° 。在正交地道桥设计中,采用刚架结构形式的较少;在斜交地道桥设计中,几乎不采用刚架结构。

随着城市建设事业的发展,用于城市地道桥建设的顶进法施工技术在今后的实践中将会得到充分的利用和提高。新结构和新工艺的采用、顶进设备的自动化及挖土、运土的机械化等,将使地道桥施工达到更为完善的水平,地道桥的应用前景也将会越来越广泛。

1.2 国内外地道桥发展概况

1.2.1 国内发展概况

我国地道桥顶进工程起自 1964 年哈尔滨市地下排水管下穿铁路工程。1965 年北京永定门外、石家庄正定路同时将顶进技术用于道路的地道桥建造,开创了城市地道桥顶进施工的先例。由于顶进技术具有很多优点并适合我国的施工水平,因而受到铁路、公路、市政等有关部门的普遍欢迎。

从 20 世纪 60 年代后期起,我国桥涵顶进施工出现了蓬勃发展的局面。首先是在大中城市改建平交道口施工工程中采用箱涵顶进法,后来逐步发展到在村镇和铁路沿线的重要道口施工工程中也采用该方法。顶进箱涵座数逐渐增多,跨度逐渐增大,长度也逐渐增加。20